Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 159-179

Monitoring and Accounting of Ecological Sustainability of Sistan's Oil Crop using Emergy and Economic Indicators

Narges Pordel[1], Mohamamd Reza Asgharipour[2*] and Esmaeel Seyedabadi[3]

1, 2 and 3- Graduated M.Sc., Professor and Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)

Received: 16-10-2022 Revised: 11-12-2022 Accepted: 25-12-2022 Available Online: 25-12-2022	**How to cite this article:** Pordel, N., Asgharipour, M.R., & Seyedabadi, E. (2024). Monitoring and accounting of ecological sustainability of Sistan's oil crop production using emergy and economic indicator. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 159-179. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.79219.1126

Introduction

The application of various inputs, such as pesticides and chemical fertilizers, has been one of the most significant factors negatively impacting the sustainability of agricultural systems. To accurately assess the value of agricultural ecosystem services, both the positive and negative aspects of agricultural systems must be taken into account. In the past three decades, the emergy analysis has been developed for assessing environmental policies and resource quality based on the dynamics of complex environmental and economic systems. Emergy analysis can be used to evaluate the sustainability of agriculture. By definition, emergy is the amount of direct or indirect solar energy required to produce a good or service. By converting all forms of energy, resources, and services into a single unit, the solar emjoule (sej), emergy analysis can assess the interdependence of economic, social, and environmental factors. The production of three important oil crops of Sistan, including rapeseed, safflower, and sesame, was investigated using emergy and economic analysis techniques to evaluate the ecological health and productivity of the use of inputs in the production of oil crops in Sistan.

Materials and Methods

This research was conducted at the level of Sistan's oil plant production systems in the Northern provinces of Sistan and Baluchistan. This research used questionnaires and face-to-face interviews with the owners of small ownership systems to determine the input consumption and performance of these systems. According to their service life, the annual input energy flow in the form of structural facilities, buildings, machinery, and materials used in the systems was calculated. The RUSLE model was used to assess water erosion. Inputs are divided into four categories to analyze production systems: renewable environmental resources (R), non-renewable environmental resources (N), purchased renewable resources (F_R), and purchased non-renewable resources (F_N). After calculating all input and output flows, the raw data for each of the production systems was multiplied by their unit emergy value in Joules, grams, or Rials, according to Iran's conditions. This study utilized transformity, the renewable emergy ratio (R%), the rmergy yield ratio (EYR), the rmergy investment ratio (EIR), the rnvironmental loading ratio (ELR), the emergy sustainability index (ESI), the emergy exchange ratio (EER), and the emergy index of product safety (EIPS).

https://doi.org/10.22067/agry.2022.79219.1126

Results and Discussion

The total supporting emergy for rapeseed, safflower, and sesame production systems was calculated to be 7.28E+16, 4.75E+16, and 3.55E+16 sej.ha^{-1}.yr^{-1}, respectively. In all three studied production systems, wind emergy was the largest source of free environmental input. In all three studied systems, environmental non-renewable inputs accounted for the largest portion of total emergy input, which was 83.42 percent for rapeseed, 80.11 percent for safflower, and 84.4 percent for sesame. The high proportion of nonrenewable inputs in this study for all three production systems demonstrated the vulnerability of Sistan's landscape cultivation systems as a result of the obvious lack of water, severe soil erosion, and contamination of agricultural lands. The total amount of purchased inputs for rapeseed, safflower, and sesame production systems was estimated to be 1.14E+16, 8.78E+15, and 5.40E+15 sej.ha^{-1}.yr^{-1}, respectively. Nitrogen and phosphorus chemical fertilizers comprised the largest proportion of purchased inputs in all three systems.

The transformity for rapeseed, safflower, and sesame production systems, respectively, was 3.88E+06, 3.76E+06, and 2.48E+06 sej.J^{-1}. The higher transformability of the rapeseed production system was due to the lower input utilization efficiency of this system compared to the safflower and sesame systems. The values of the saffron system's environmental sustainability indices (ESI and ESI*), renewable energy ratio (%R), environmental loading ratios (ELR and ELR*), and modified investment ratio (EIR*) indicate that this system is more sustainable. The lower health of rapeseed and sesame systems based on emergy indices was primarily due to the large proportion of input emergy related to organic matter losses and soil erosion, which are nonrenewable environmental resources. The economic analysis revealed that the sesame production system generated a higher profit-to-cost ratio and net profit than the safflower and rapeseed systems.

Conclusion

This study demonstrated that emphasizing practical solutions in the comprehensive management of production ecosystems, particularly through the protection of soil organic matter and the prevention of erosion, can significantly enhance their ecological health.

Keywords: Economic analysis, Environmental burden, Environmental inputs, Profitability analysis, Rapeseed, Renewable resources

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۷۹-۱۵۹

ارزیابی و پایش پایداری اکولوژیکی بوم‌نظام‌های زراعی تولید روغن در سیستان با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی

نرگس پردل[۱]، محمدرضا اصغری پور[۲]* و اسماعیل سیدآبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

چکیده

به‌منظور ارزیابی سلامت اکولوژیکی و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها در تولید گیاهان روغنی سیستان تولید سه محصول روغنی با اهمیت منطقه شامل کلزا (*Brassica napus* L.)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات این پژوهش توسط پرسش‌نامه و مصاحبه چهره به چهره با مالکین نظام‌های خرده مالکی برای تعیین میزان مصرف نهاده‌ها و میزان عملکرد آن‌ها گردآوری شد. امرژی کل حمایت‌کننده نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد سیستان به‌ترتیب $۷/۲۸×۱۰^{۱۶}$، $۴/۷۵ ×۱۰^{۱۶}$ و $۳/۵۵×۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال به‌دست آمد. بالاترین سهم از ورودی امرژی کل در هر سه نظام مورد مطالعه به ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی مربوط بود که سهم آن برای نظام‌های تولید کلزا ۸۳/۴۲ درصد، گلرنگ ۸۰/۱۱ درصد و کنجد ۸۴/۴۱ درصد به‌دست آمد. مقادیر شاخص‌های امرژی، پایداری زیست‌محیطی (ESI و *ESI)، درصد تجدیدپذیری (R%)، بار زیست‌محیطی (ELR و *ELR) و نسبت سرمایه‌گذاری اصلاح شده (*EIR) در نظام گلرنگ حاکی از پایداری بیش‌تر این نظام می‌باشد. دلیل اصلی سلامت کم‌تر نظام‌های کلزا و کنجد براساس شاخص‌های امرژی، سهم زیاد امرژی ورودی مربوط به تلفات ماده‌آلی و فرسایش خاک که در دسته منابع تجدیدناپذیر محیطی قرار دارند، بود. تحلیل اقتصادی نشان‌دهنده نسبت سود به هزینه و سود خالص بالاتر نظام تولید کنجد نسبت به دو نظام گلرنگ و کلزا بود. نتایج این مطالعه نشان داد که توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از فرسایش، می‌تواند در سلامت اکولوژیکی آن‌ها تأثیر چشم‌گیری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بار محیط زیستی، تحلیل اقتصادی، تحلیل سودآوری، کلزا، منابع تجدیدپذیر، ورودی های محیط زیستی

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و بحران کمبود غذا، سبب بهره‌برداری بیش از اندازه منابع طبیعی و در نهایت، برهم خوردن توازن بیولوژیکی شده است (Kouchaki, 1997). امنیت غذایی هر کشوری توسط بخش کشاورزی تأمین و تضمین می‌شود (Gheicari et al., 2022). بخش کشاورزی موظف به تأمین غذای کافی برای جمعیت رو به رشد جهان می‌باشد. مسئله مهمی که باید در نظر گرفته شود، این است که نظام‌های کشاورزی علاوه‌بر حفظ محیط زیست با شیوه‌های صحیح، هم‌زمان باید بتوانند معیشت پایدار برای کشاورزان را نیز فراهم آورند (Nazarian et al., 2020). از مهم‌ترین اقداماتی که به‌شدت پایداری اکولوژیکی نظام‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است، کاربرد نهاده‌های گوناگون از قبیل سموم و کودهای شیمیایی، بدون در نظر

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.79219.1126

گرفتن وضعیت و ساختار نظام تولید، میزان بهره‌وری، پیامدهای آنی و طولانی‌مدت بر محیط زیست است (Seyedan, 2003). بوم‌نظام‌های زراعی تبعات زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه دارند که تولید گازهای گلخانه‌ای، نشت بقایای کود و سموم شیمیایی به آب و خاک، فرسایش خاک، کاهش تنوع زیستی و تخریب زیستگاه‌های حیات وحش از جمله آن‌ها محسوب می‌شوند (Dale Pretty et al., 2000 & Polasky, 2007; Syswerda, 2009). امروزه مصرف انرژی[1] در بخش کشاورزی به‌دلیل رشد جمعیت و تهیه مواد غذایی کافی برای جمعیت در حال رشد، افزایش یافته و کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده فشرده انرژی مطرح می‌باشد (Fei et al., 2017). در مناطق زیادی از دنیا به‌دلیل افزایش شدید ورودی‌های تجدیدناپذیر، وضعیت اکولوژیکی خاک، ضعیف و وابستگی تولید و عملکرد به این ورودی‌ها شدید شده است (Xueping & Qian, 2007). از طرف دیگر، محدودیت منابع و اثر سوء مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی بر روی محیط زیست و سلامت انسان، مطالعه الگوهای مصرف انرژی را در نظام‌های زراعی امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری ساخته است (Yuosefi & Mahdavi Damghani, 2013). استفاده بهینه از انرژی به‌خصوص در بخش کشاورزی، یکی از مهم‌ترین موارد در توسعه پایدار می‌باشد (Fallahinejad and Armin, 2022). به همین جهت، توسعه بخش کشاورزی بدون ارزیابی پایداری، اثرات زیان‌بار و جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد (Vahedi et al., 2009). یکی از راهکارهای توسعه کشاورزی و پایداری تولید، استفاده از روابط و محاسبات مربوط به جریان انرژی است. آنچه که باید در گام نخست مورد توجه واقع شود، این است که در شرایط فعلی توجه به تعاملات انرژی و محیط زیست امری ضروری محسوب شود (Ministry of Power, 2011). حفظ و ایجاد پایداری مستلزم ارزیابی وضعیت سلامت اکولوژیکی از طریق روش‌های صحیح و جامع می‌باشد (Quintero-Angel & Gonzalez-Acevedo, 2018). برای ارزیابی دقیق ارزش خدمات بوم‌نظام‌های زراعی لازم است که جنبه‌های مثبت و منفی نظام‌های کشاورزی (تبعات زیست‌محیطی آن) به‌طور همزمان مورد توجه قرار گیرد (Koocheki et al., 2016). انتخاب و روش محاسبه شاخص‌ها، نقش مهمی برای ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی ایفا می‌کنند (Shah hoseini and Kazemi, 2022). این روش‌ها شامل تحلیل ورودی- خروجی، اندازه‌گیری ردپای بوم‌شناختی، ارزش‌گذاری بوم‌شناختی، ارزیابی چرخه حیات، تحلیل انرژی و تحلیل امرژی است (Patterson et al., 2017). تکنیک تحلیل امرژی[2] در سه دهه گذشته توسعه یافته است و به‌عنوان ابزاری برای سیاست‌های زیست‌محیطی و ارزیابی کیفیت منابع براساس پویایی نظام‌های پیچیده زیست‌محیطی و اقتصادی بدل شده است (Odum, 1983; Odum, 1996; Brown & Ulgiati, 1997). می‌توان از تحلیل امرژی برای ارزیابی پایداری کشاورزی بهره برد. براساس تعریف، امرژی مقدار انرژی خورشیدی مورد نیاز به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید یک کالا یا خدمت است (Odum, 2000). تحلیل امرژی می‌تواند با تبدیل انواع انرژی، منابع و خدمات به یک واحد اندازه‌گیری مشترک امژول خورشیدی (sej)[3]، تأثیر متقابل مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را ارزیابی کند (Su et al., 2020). از آنجایی‌که بخش کشاورزی مصرف‌کننده هر دو نوع منابع محیطی و اقتصادی می‌باشد، بنابراین باید سهم هر دو منبع در ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌ها در نظر گرفته شود (Campbell, 1998). تحلیل امرژی هر دو هزینه محیطی و اقتصادی برای رسیدن به پایداری را اندازه می‌گیرد (Chen & Chen, 2012). تحلیل اقتصادی تولید محصولات زراعی با اتکا به دیدگاه‌های بوم‌شناسی، مصرف انرژی و اقتصاد بوم‌شناختی از روش‌های مناسب برای شناخت علل افزایش یا رکود سطح زیر کشت محصولات در یک منطقه خاص است (Ahmadi & Aghaalikhani, 2012). کاربرد تلفیقی تحلیل‌های امرژی و اقتصادی می‌تواند دیدگاه جامع‌تر در مورد چشم‌اندازهای مختلف پایداری محیطی و بهره‌وری برای نظام‌های مورد بررسی را در اختیار قرار دهد (Asgharipour et al., 2019). پیوند دادن بهره‌وری فرآیندهای اقتصادی با بهره‌وری فرآیندهای اکولوژیکی به‌معنای قرار دادن بهره‌وری بر مدار توسعه پایدار و جلوگیری از بحران‌های زیست‌محیطی و مدیریت بحران‌های اقتصادی است (Fetros, 1998).

گیاهان روغنی، گیاهانی هستند که برای استخراج روغن پرورش داده می‌شوند. این گیاهان بعد از غلات مهم‌ترین محصولات زراعی محسوب می‌شوند که قابلیت کشت در اقلیم‌های مختلف را دارا

1- Energy

2- Emergy

3- Solar emjoule

می‌باشند. کشت گیاهانی همچون کلزا (*Brassica napus L.*)، گلرنگ (*Carthamus tinctorus L.*) و کنجد (*Sesamum indicum L.*) هم تولید روغن خوراکی را افزایش می‌دهند و هم در تناوب قرار گرفتن با غلات اثرات مثبت باقی می‌گذارند و از همه مهم‌تر، از نظر حفظ منابع آبی جایگزین با کشت گیاهان پرآب می‌شود. بیش از ۹۰ درصد از مصرف داخلی روغن‌های خوراکی کشور به‌صورت خام یا آماده از خارج کشور وارد می‌گردد. بدین ترتیب، سهم بزرگی از منابع ارزی کشور صرف واردات دانه‌های روغنی و روغن می‌شود (Danesh-Shahraki et al., 2008). این مسئله باعث شده تا برنامه‌ریزی منسجم و بلندمدت با هدف خودکفایی تولید روغن خوراکی در کشور الزام یابد. کشت گیاهان روغنی در منطقه سیستان را می‌توان به‌عنوان محصولات جدید در نظر گرفت، زیرا تا چند سال اخیر این گیاهان مورد توجه واقع نشده بودند. اما کمبود آب و شرایط اقلیمی باعث جلب توجه مسئولین و کشاورزان به این نوع گیاهان شده است. به همین دلیل، سطح زیر کشت این محصولات تاکنون دارای ثبات نبوده است. با توجه به اهمیت فرآورده‌های حاصل از گیاهان روغنی در سبد غذایی خانواده ایرانی و نیز ضرورت افزایش تولید این گیاهان، در این مطالعه نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد با هدف ارزیابی سلامت اکولوژیکی و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها با استفاده از تکنیک‌های تحلیل امرژی و اقتصادی در منطقه سیستان ایران بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان با وسعت تقریبی ۱۵۱۹۷ کیلومترمربع دشت پست و هموار در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه پهنای شمالی و ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه در ازای شرقی می‌باشد (Zia Tavana, 1992). منطقه سیستان دارای اقلیمی بسیار خشک با تابستان‌های بسیار گرم و طولانی می‌باشد. اراضی زراعی منطقه سیستان مساحتی بیش از ۱۲۰،۰۰۰ هکتار را پوشش می‌دهد که بیشتر آن اختصاص به تولید محصولات زراعی همچون گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، صیفی‌جات، یونجه (*Medicago sativa* L.)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، انگور (*Vitis vinifera* L.) و محصولات گلخانه‌ای دارد (Kohkan et al., 2017). میانگین سالانه بارندگی در این منطقه ۶۰ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالانه ۲۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی سالانه ۳۸ درصد می‌باشد (Miri et al., 2009). تبخیر و تعرق بالقوه براساس روش‌های مختلف حدود ۴۱۹۶ میلی‌متر تا ۵۷۰۰ میلی‌متر محاسبه شده است (Negaresh & Khosravi, 2000). براساس طبقه‌بندی دومارتن با شاخص خشکی ۱/۹، سیستان جزو مناطق فراخشک طبقه‌بندی می‌شود (Miri et al., 2009).

جمع‌آوری داده‌ها

تمام اطلاعات مرتبط با داده‌های مورد نیاز برای این پژوهش با استفاده از پرسش‌نامه چهره به چهره از تولیدکنندگان محصولات کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان در سال ۱۳۹۹- ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. تعداد نمونه مورد نیاز در این مطالعه با استفاده از روش نیمن و براساس معادله ۱ تعیین شد (Yamane, 1967).

$$n = \frac{\sum N_h S_h}{N^2D^2 + \sum N_h S_h^2} \quad \text{(۱) معادله}$$

که در آن، n: اندازه نمونه مورد نیاز، N_h: تعداد تولیدکنندگان محصولات در طبقه h، S_h: انحراف استاندارد در طبقه h، S_h^2: واریانس طبقه h می‌باشد. $D^2 = d^2/z^2$ که در آن، d: دقت و z: ضریب اطمینان (۱/۹۶ که ۹۵ درصد قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد) است.

با وجود مساحت متغیر نظام‌های مورد مطالعه به‌منظور ایجاد سهولت در محاسبات و مقایسه میان نظام‌های تولید، مقادیر نهاده‌ها و خروجی برای هر یک از نظام‌های کاشت برای مساحت یک هکتار استاندارد شدند. در تطابق با مطالعات پیشین سهم تجدیدپذیری نیروی کار در ایران ۱۰ درصد در نظر گرفته شد (Ulgiati et al., 1994; Jafari et al., 2018). آب آبیاری مزارع در منطقه از آب‌های زیرزمینی تأمین شده که از موتورهای برقی برای استخراج آن استفاده می‌شود. برای ارزیابی میزان آب مصرفی در هر نظام زراعی مدت آبیاری در کل دوره زراعی برای یک هکتار از حاصل ضرب تعداد دفعات آبیاری در مدت زمان هر آبیاری برای یک هکتار به‌دست آمد. برای محاسبه میزان الکتریسیته مصرفی توسط موتورهای برقی استخراج آب متوسط توان مصرفی موتورهای آب موجود در منطقه را که معادل با ۱۹۲/۳۰۸ کیلووات ساعت می‌باشد، در کل مدت آبیاری یک هکتار زمین زیر کشت ضرب شد (Yasini et al., 2020).

آمار و اطلاعات هواشناسی بلندمدت و انرژی تابش خورشیدی از ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک به‌دست آمد. جریان انرژی

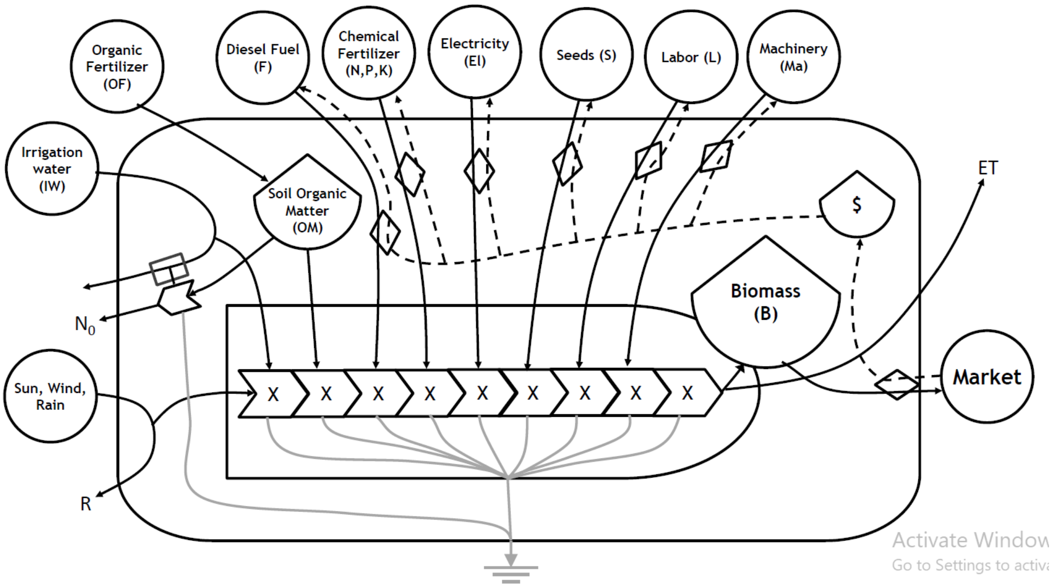
ورودی سالانه به‌شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در نظام‌ها با توجه به طول عمر خدمات آن‌ها به‌دست آمد (Vassallo et al., 2007). طول عمر ماشین‌آلات ۲۵ سال و ساختمان‌ها ۴۰ سال تخمین زده شد (Jafari et al., 2018). برای ارزیابی تلفات مواد آلی، میزان مواد آلی خاک پیش از کاشت گیاهان و پس از برداشت گیاهان اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی صفر تا ۲۰ سانتی‌متری از مزارع انجام گرفت. ماده‌آلی خاک به‌روش LOI در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت در کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد (Hashemi Bani et al., 2009). فرسایش آبی با مدل RUSLE تخمین زده شد (Mohammadi et al., 2018).

تحلیل امرژی

جزئیات فرآیند تحلیل امرژی توسط محققین مختلف ارائه شده است (Ulgiati et al., 1994; Odum, 1996; Odum, 2000). تحلیل امرژی به بهترین وجه با استفاده از معیارهای ترمودینامیکی، پویایی و عملکرد نظام‌های زیست‌محیطی را اندازه‌گیری می‌کند (Odum, 1988; Odum et al., 2000). در تحلیل امرژی تمامی ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، رایگان و خریداری شده، همچنین خروجی‌های نظام شامل محصولات و خدمات به واحد مشترک امژول خورشیدی تبدیل می‌شود (Odum, 1996). اولین گام برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی سه نظام مورد مطالعه و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی نهاده‌های نظام‌های مورد بررسی به تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر محلی یا وارداتی است (Odum, 2000). این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرآیندهای سودآور نظام ضروری بوده و همچنین پایه‌های زیست‌محیطی بوم‌نظام و ارتباط آن‌ها را به نمایش می‌گذارد. در شکل ۱ و ۲ دیاگرام تجمعی جریان امرژی برای سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد نمایش داده شده است. نهاده‌های نظام‌های کشاورزی از دو منبع نهاده‌های محیطی و خریداری‌شده نشأت می‌گیرند. در سمت چپ دیاگرام ورودی‌های محیطی، در قسمت بالا ورودی‌های خریداری‌شده و در سمت راست خروجی‌های مفید نظام‌های تولید نشان داده می‌شود. برای تحلیل نظام‌های تولید، ورودی‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر[1] (R)، مانند نورخورشید، باد و باران. منابع محیطی تجدیدناپذیر[2] (N)، مانند تلفات مواد آلی خاک، فرسایش خاک و منابع مورد دستیابی برای فرآیند تشکیل خاک. منابع خریداری‌شده تجدیدپذیر[3] (F_R)، مانند بذر، کود آلی و نیروی انسانی که از خارج نظام خریداری شده‌اند؛ و منابع خریداری‌شده تجدیدناپذیر[4] (F_N)، مانند کودها و آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات و... می‌باشند. امرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به‌کار رفته، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019). برای محاسبه امرژی بذر مصرفی از ضریب امرژی به‌ازای واحد پول استفاده شد (Amiri et al., 2021). پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی[5] (U) و خروجی[6] (Y)، اطلاعات خام برای هرکدام از نظام‌های تولید، برحسب ژول، گرم یا ریال با توجه به شرایط ایران در ارزش واحد امرژی آن‌ها ضرب شد (Amiri et al., 2019)Asgharipour et al., 2020) دومین گام برای تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است.

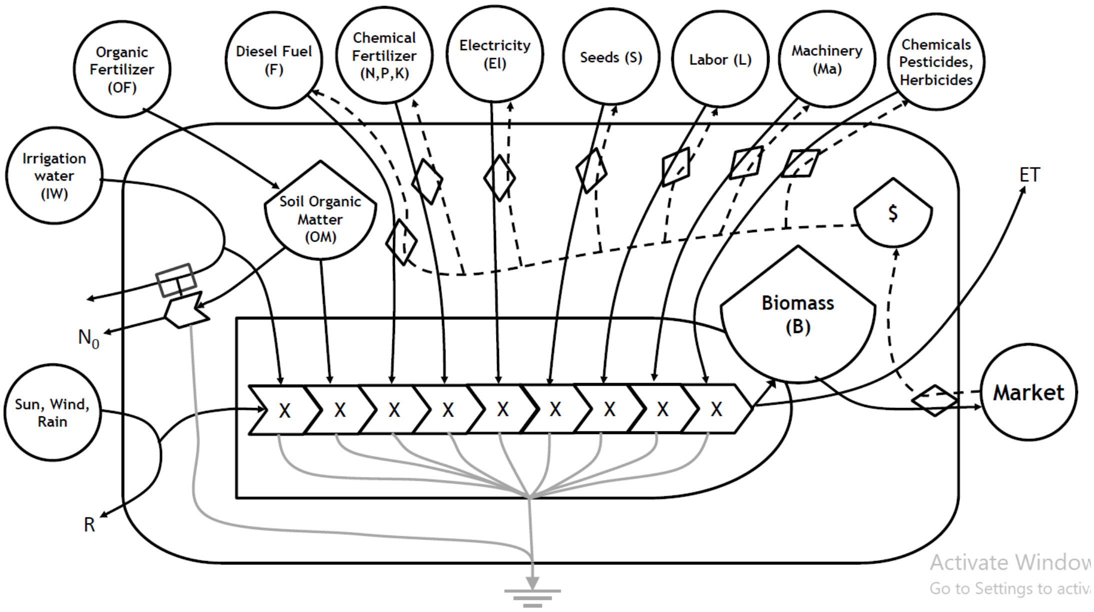
در تحلیل امرژی از شاخص‌های امرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده شد (Lu et al., 2010). در این مطالعه، ضریب تبدیل[7] (Tr)، درصد تجدیدپذیری امرژی[8] (R٪)، نسبت عملکرد امرژی[9] (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی[10] (EIR) و نسخه اصلاح شده آن[11] (EIR*)، نسبت بار زیست‌محیطی[12] (ELR) و نسخه اصلاح شده[13] آن (ELR*)، شاخص پایداری محیط زیست[14] (ESI) و نسخه اصلاح‌شده[15] آن (ESI*)، کسر مبادله امرژی[16] (EER) و شاخص امرژی سلامت تولید[17] (EIPS) استفاده شد. فرمول و روش محاسبه این شاخص‌ها در جدول ۱ توصیف شده است (Asgharipour et al., 2020).

1- Environmental renewable inputs
2- Environmental renewable inputs
3- Purchased non-renewable inputs
4- Purchased non-renewable inputs
5- Inputs
6- Outouts
7- Transformity
8- Renewable Emergy Ratio
9- Emergy Yield Ratio
10- Emergy Investment Ratio
11- Modified Emergy Investment Ratio
12- Environmental Loading Ratio
13- Modified Environmental Loading Ratio
14- Emergy Sustainability Index
15- Modified Emergy Sustainability Index
16- Emergy Exchange Ratio
17- Emergy index of product safety



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی بوم‌نظام‌های تولید کنجد در منطقه سیستان

Fig. 1- Emergy flow diagrams of sesame production ecosystems in Sistan region



شکل ۲- دیاگرام جریان امرژی بوم‌نظام‌های تولید کلزا و گلرنگ در منطقه سیستان

Fig. 2- Emergy flow diagrams of rapeseed and safflower production ecosystems in Sistan region

تحلیل اقتصادی

ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد با استفاده از روش‌های تحلیل اقتصادی متعارف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای سهولت در محاسبه مانند تحلیل امرژی بازه زمانی یک ساله برای تحلیل اقتصادی در نظر گرفته شد. به‌منظور تحلیل شرایط

اقتصادی نظام‌های مورد بررسی، برخی از شاخص‌های اقتصادی شامل درآمد ناخالص، درآمد خالص، کل هزینه‌های تولید، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری تولید کلزا، گلرنگ و کنجد براساس معادله‌های ۲ تا ۵ محاسبه شد (Asgharipour et al., 2019).

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر امرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در منطقه سیستان

Table 1- Specifications and formulas of the emergy-based indicators used to evaluate rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan

شاخص Index	فرمول Formula	خصوصیات Specifications	Reference منبع
ورودی‌های تجدیدپذیر از منابع رایگان Renewable inputs from free local resources	R	جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental flows	طبق تعریف By definition
ورودی‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان Non-renewable environmental flows	طبق تعریف By definition
ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	طبق تعریف By definition
ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع بازاری Non-renewable purchased flows	طبق تعریف By definition
ضریب تبدیل Transformity	$Tr = U / AE$	مقدار امرژی موردنیاز برای تولید یک واحد خروجی برحسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است. Amount of emergy required to produce an output unit in joules. AE is the energy content.	Brown & Ulgiati (2004)
امرژی ویژه Special emargy	$SE = U / PW$	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم است. Amount of emergy required to produce an output unit in grams. AE is the energy content.	Brown & Ulgiati (2004)
درصد تجدیدپذیری امرژی Renewable emergy ratio	$\%R = R+F_R / U\times100$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام تولیدی می‌باشد. Percentage of the renewable energy used by the system	Odum (2000)
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR = U / F_N+F_R$	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی است. Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	Odum (2000)
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	$EIR = F_R+F_N/R$	نسبت منابع انرژی خریداری‌شده از خارج به کل انرژی محیطی رایگان در نظام می‌باشد. EIR is the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the system.	Brown & Ulgiati (2004)
نسخه اصلاح شده نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Modified emergy investment ratio	$= F_N+F_R /R$ EIR^*	میزان مطابقت سرمایه‌گذاری خارج در تولید محصول نسبت به منابع محیطی تجدیدپذیر رایگان است. The adaptation rate of investment in product production is compared with environmental resources received for free.	Amiri et al. (2019)
نسبت بار زیست‌محیطی Environmental loading ratio	$ELR = N+F_N / R+F_R$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام تولیدی است. Environmental pressure produced by a process	Lu et al. (2014)
نسخه اصلاح شده نسبت بار زیست‌محیطی Modified environmental loading ratio	$ELR^* = F_N+N / R+F_R$	مقیاس اندازه‌گیری پایداری An inverse measure of sustainability	Lu et al. (2014)
شاخص پایداری محیط زیست Emergy sustainability index	$ESI = EYR / ELR$	وابستگی خروجی نظام به محیط، هرچه این مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی‌تر است. The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system	Lu et al. (2014)
نسخه اصلاح شده شاخص پایداری محیط زیست Modified emergy sustainability index	$ESI^* = ELR^*$ $EYR/$	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر توام با حداقل فشار وارده بر محیط زیست متمرکز است. Alternate sustainability index that focuses on the use of renewable resources with minimal pressure on the environment.	Lu et al. (2014)
کسر مبادله امرژی Emergy exchange ratio	$EER = U/YM$	خروجی اقتصادی (عملکرد نظام) مبادله شده با پول در بازار (YM) تقسیم بر کل امرژی ورودی نظام (U). Economic output (a system yield) traded with money in the market (YM) on total emergy input rate (U).	Odum (1996)
شاخص امرژی سلامت تولید Emergy index of product safety	$EIPS=1 - [C/ (F_N + F_R)]$	این شاخص اثر کود شیمیایی، سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها را بر ایمنی محصول ارزیابی می‌نماید It assesses the effect of chemical fertilizer, pesticide and herbicide use on product safety	Xi & Qin (2009)

$$NR=GVP-TCP \quad \text{معادله (۲)}$$

$$GVP= CY\times CP \quad \text{معادله (۳)}$$

TCP= VCP-FCP معادله (۴)

B to C= GVP/TCP معادله (۵)

که در آن، NR: درآمد خالص (میلیون تومـان در هکتـار)، GVP: ارزش ناخالص تولید (میلیون تومان در هکتار)، TCP: هزینه‌های تولید (میلیون تومان در هکتار)، CY: عملکرد محصول زراعی (کیلـوگرم در هکتار)، CP: قیمت محصول (تومان در کیلـوگرم) و B to C: نسـبت سود به هزینه است.

نتایج و بحث

جریـان‌هـای منـابع طبیعـی و نهاده‌هـای خریـداری شـده بـرای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در جدول ۲ فهرست شده اسـت. تمام ورودی‌های ارائه شده در این جـدول از طریـق ضـرب شـدن در ضرایب مربوط به ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال تبـدیل شـده‌اند. علاوه‌براین نهاده‌های ورودی بر طبق نسبت‌های تجدیدپذیری بـه دو بخش تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شده است.

جدول ۲- جریان‌های ورودی از منابع طبیعی و اقتصادی در نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان

Table 2- Natural and economic flows of rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan region

	واحد Unit	کلزا Rapeseed	گلرنگ Safflower	کنجد Sesame
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs				
انرژی خورشیدی Solar energy	ژول J	2.98E+13	2.76E+13	2.89E+13
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	ژول J	5.39E+11	5.19E+11	8.77E+10
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	ژول J	1.09E+09	1.09E+09	
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	ژول J	8.06E+08	8.06E+08	
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs				
آب زیرزمینی Groundwater	ژول J	9.15E+10	8.37E+10	5.20E+10
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	ژول J	7.40E+10	6.77E+10	4.20E+10
تلفات ماده آلی و خاک SOM reduction	ژول J	4.75E+10	4.75E+10	4.75E+10
فرسایش خاک Soil erosion	گرم g	2.88E+07	1.23E+07	1.13E+07
نهاده‌های خریداری شده Purchased inputs				
نیروی کارگری Human labor	ژول J	4.98E+08	4.02E+08	6.08E+08
ماشین‌آلات Machinery	گرم g	7.77E+03	7.77E+03	2.39E+03
روغن و سوخت فسیلی Fossil fuel and lubricant	گرم g	1.21E+10	5.21E+09	3.78E+09
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	گرم g	1.50E+05	1.25E+05	7.50E+04

کود فسفر Phosphorus fertilizer	گرم g	7.50E+04	6.50E+04	4.00E+04
کود پتاس Potash fertilizer	گرم g	5.00E+04	3.50E+04	0.00E+00
کود میکرو Micro fertilizer	گرم g	2.50E+03	2.00E+03	1.00E+03
کود آلی Organic fertilizer	گرم g	4.00E+06	3.50E+06	3.00E+04
آفت‌کش Pesticide	گرم g	1.00E+03	6.00E+03	0.00E+00
الکتریسیته Electricity	ژول J	3.60E+09	1.17E+09	6.30E+08
بذر Seed	ریال Rials	3.50E+06	2.40E+06	1.45E+06
خروجی Output				
عملکرد اقتصادی Economic yield	گرم g	7.50E+05	8.60E+05	5.50E+05
عملکرد اقتصادی Economic yield	ژول J	1.88E+10	1.26E+10	1.43E+10

ورودی‌های امرژی کل یا امرژی کل حمایت‌کننده نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در منطقه سیستان برای سه گیاه مورد تحقیق به‌ترتیب $۷/۲۸\times ۱۰^{۱۶}$، $۴/۷۵\times ۱۰^{۱۶}$ و $۳/۵۵\times ۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. امرژی کل برای نظام تولید کلزا بیش‌تر از دو نظام گلرنگ و کنجد بود که دلیل آن مصرف بیش‌تر ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی است. بالاترین مقدار امرژی ورودی در نظام تولید کلزا به تلفات فرسایشی خاک با مقدار $۳/۶۶\times ۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (سهم ۵۰/۲۵ درصدی) و الکتریسیته با مقدار $۸/۳۲\times ۱۰^{۱۴}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (سهم ۱/۱۴درصدی) بود. نهاده‌های امرژی ورودی در نظام‌های تولید گیاهان روغنی (کلزا، گلرنگ و کنجد) در منطقه سیستان به نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)، نهاده‌های خریداری شده تجدیدناپذیر (F_N) و نهاده‌های خریداری شده تجدیدپذیر (F_R) تقسیم شدند.

جدول ۳- تحلیل امرژی و ساختار ورودی در نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان ($set.ha^{-1}$)

Table 3- Emergency analysis and input structure in rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan region

موارد Items	امرژی/واحد Emergy/unit	کلزا Rapeseed امرژی Emergy	درصد %	گلرنگ Safflower امرژی Emergy	درصد %	کنجد Sesame امرژی Emergy	درصد %
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs							
انرژی خورشیدی Solar energy	1.00E+00	2.98E+13	0.04%	2.76E+13	0.06%	2.89E+13	0.08%
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.25E+03	6.74E+14	0.93%	6.49E+14	1.36%	1.10E+14	0.31%
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	2.25E+04	2.45E+13		2.45E+13		0.00E+00	
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	2.88E+04	2.32E+13		2.32E+13		0.00E+00	
جمع Subtotal		7.04E+14	0.97%	6.76E+14	1.42%	1.39E+14	0.39%
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs							

آب زیرزمینی Groundwater	1.92E+05	1.76E+16	24.13%	1.61E+16	33.80%	9.98E+15	28.10%
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	2.88E+04	2.13E+15	2.93%	1.95E+15	4.10%	1.21E+15	3.40%
تلفات مواد آلی خاک SOM reduction	9.36E+04	4.45E+15	6.11%	4.45E+15	9.35%	4.45E+15	12.51%
فرسایش خاک Soil erosion	1.27E+09	3.66E+16	50.25%	1.56E+16	32.85%	1.44E+16	40.39%
جمع Subtotal		6.07E+16	83.42%	3.81E+16	80.11%	3.00E+16	84.41%
خروجی Purchased inputs							
نیروی کارگری Human labor	2.22E+06	1.11E+15	1.52%	8.92E+14	1.88%	1.35E+15	3.80%
ماشین‌آلات Machinery	1.01E+10	7.85E+13	0.11%	7.85E+13	0.17%	2.41E+13	0.07%
روغن و سوخت فسیلی Fossil fuel and lubricant	8.60E+04	1.04E+15	1.43%	4.48E+14	0.94%	3.25E+14	0.91%
کود نیتروژن N fertilizer	3.09E+10	4.64E+15	6.37%	3.86E+15	8.12%	2.32E+15	6.52%
کود فسفر P fertilizer	2.82E+10	2.12E+15	2.91%	1.83E+15	3.86%	1.13E+15	3.17%
کود پتاس K fertilizer	2.23E+09	1.12E+14	0.15%	7.81E+13	0.16%	0.00E+00	0.00%
کود میکرو Micro fertilizer	3.91E+09	9.78E+12	0.01%	7.82E+12	0.02%	3.91E+12	0.01%
کود آلی Organic fertilizer	2.96E+08	1.18E+15		1.04E+15		8.88E+12	
آفت‌کش Pesticide	1.89E+10	1.89E+13	0.03%	1.13E+14	0.24%	0.00E+00	0.00%
الکتریسیته Electricity	2.31E+05	8.32E+14	1.14%	2.70E+14	0.57%	1.46E+14	0.41%
بذر Seed	6.76E+07	2.37E+14	0.50%	1.62E+14	0.34%	9.80E+13	0.28%
جمع Subtotal		1.14E+16	15.62%	8.78E+15	18.47%	5.40E+15	15.20%
جمع کل Total		7.28E+16	100.00%	4.75E+16	100.00%	3.55E+16	100.00%

ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

منابع محیطی تجدیدپذیر شامل نورخورشید، انرژی باد، انرژی شیمیایی باران و انرژی تبخیر و تعرق می‌باشد. در این مطالعه، بزرگ‌ترین ورودی رایگان محیطی در هر سه نظام تولیدی مورد مطالعه، انرژی باد بود. از آنجا که ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، همه از انرژی خورشیدی منشعب می‌شود و به‌منظور اجتناب از ارزیابی مضاعف مجموع انرژی خورشید که در فتوسنتز گیاهان استفاده می‌شود و بزرگ‌ترین جزء ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر معادل کل این ورودی‌ها در نظر گرفته شد. جریان انرژی تجدیدپذیر رایگان محیطی برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در این مطالعه به‌ترتیب $۷/۰۴×۱۰^{۱۴}$، $۶/۷۶×۱۰^{۱۴}$ و $۱/۳۹×۱۰^{۱۴}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. علت اصلی تفاوت سه بوم‌نظام مورد مطالعه در مقادیر جریان محیطی تجدیدپذیر، تفاوت در انرژی باد دریافتی بود.

این نهاده‌ها برای نظام‌های کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب ۰/۹۷ درصد، ۱/۴۲ درصد و ۰/۳۹ درصد از کل امرژی‌های ورودی به نظام محاسبه گردیدند. بنابراین، سهم این ورودی از ورودی امرژی کل در نظام تولید گلرنگ بیش‌تر از دو نظام تولید کلزا و کنجد بوده است (جدول ۳). میزان نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر برای نظام‌های تولید گندم، پیاز (*Allium cepa* L.) و سیر (*Allium sativum* L.) در منطقه سیستان معادل ۴/۴۵ درصد برای گندم، ۴/۳۶ درصد برای پیاز و ۲/۹۱ درصد برای سیر از کل امرژی‌های ورودی محاسبه گردید (Yasini et al., 2020). میزان این نهاده برای نظام تولیدی برنج (*Oryza sativa* L.) در چین $۱/۸۲×۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال برآورد شد (Su et al., 2020).

ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

در این تحقیق، ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر شامل آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق، تلفات ماده‌آلی خاک و فرسایش خاک می‌باشد. سهم ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر از ورودی امرژی کل در نظام‌های تولید کلزا ۸۳/۴۲ درصد، گلرنگ ۸۰/۱۱ درصد و کنجد ۸۴/۴۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). بالا بودن سهم تمامی ورودی‌های تجدیدناپذیر در این مطالعه برای هر سه نظام تولیدی کلزا، گلرنگ و کنجد، نشان‌دهنده ماهیت شکننده نظام‌های کشت بوم‌های سیستان به‌دلیل کمبود آشکار آب، فرسایش شدید خاک و آلودگی زمین‌های کشاورزی است. بالا بودن این ورودی‌ها در کنجد نسبت به دو نظام دیگر به‌دلیل هدررفت بیش‌تر مواد آلی خاک نسبت به نظام‌های کلزا و گلرنگ است. هم‌چنین سهم فرسایش خاک از کل امرژی‌های ورودی نیز به‌عنوان چهارمین ورودی محیطی تجدیدناپذیر در تمام نظام‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در نظام‌های کلزا ۵۰/۲۵ درصد، گلرنگ ۳۲/۸۵ درصد و برای کنجد ۴۰/۳۹ درصد می‌باشد. بالا بودن میزان تلفات مواد آلی خاک، فرسایش خاک و مصرف آب زیرزمینی بیان‌کننده این حقیقت است که تولید محصولات کشاورزی، اثرات و هزینه‌های شدید زیست‌محیطی را در منطقه سیستان به دنبال دارند، این ضعف به دنبال نبود مدیریت مصرف بهینه آب و مصرف بالای کودهای شیمیایی می‌باشد که سبب از بین رفتن مواد آلی خاک و هم‌چنین، ایجاد شرایط نابسامان محیطی در این منطقه می‌باشد که فرسایش خاک را نیز تشدید کرده است.

ورودی‌های خریداری شده (F_N و F_R)

ورودی‌های خریداری شده به نظام‌های مورد مطالعه شامل نیروی کارگری، ماشین‌آلات، سوخت فسیلی و روغن موتور، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر، پتاس و میکرو)، کود آلی، آفت‌کش‌ها، الکتریسیته و بذر مصرفی هستند. مقدار کل این ورودی‌ها برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب برابر ۱۰^۱۶×۱/۱۴، ۱۰^۱۵×۸/۷۸ و ۱۰^۱۵×۵/۴۰ امژول خورشیدی در هکتار در سال برآورد شد. سهم ورودی‌های بازاری از ورودی امرژی کل برای کلزا ۱۵/۶۲ درصد، گلرنگ ۱۸/۴۷ درصد و برای کنجد ۱۵/۲۰ درصد است (جدول ۳). بالاترین سهم از ورودی‌های خریداری‌شده در هر سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد مرتبط با کودهای شیمیایی نیتروژن (کلزا ۶/۳۷ درصد، گلرنگ ۸/۱۲ درصد و کنجد ۶/۵۲ درصد) و فسفر (کلزا ۲/۹۱ درصد، گلرنگ ۳/۸۶ درصد و کنجد ۳/۱۷ درصد) بود. بنابراین، کاهش مصرف این ورودی‌ها (تجدیدناپذیر) تا حد امکان در کاهش سهم ورودی خریداری شده در این نظام‌ها مفید می‌باشد. سهم سایر ورودی‌های خریداری شده برای هر سه نظام بسیار پایین بوده، به‌طوری‌که برخی از این ورودی‌ها از کل امرژی‌های ورودی برابر صفر یا بسیار نزدیک به صفر بود.

در سایر مطالعات نیز نشان داده شده است که کودهای شیمیایی سهم عمده‌ای در کل ورودی امرژی یک سیستم کشت دارند. کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس ۹۷ درصد از منابع خریداری شده غیر قابل تجدید در زراعت گندم (Hoshyar et al., 2018)، و تناوب گندم/لوپن (Lefroy & Rydberg, 2003) را به خود اختصاص داده بودند. هم‌چنین کود نیتروژن و نیروی کارگری بیش‌ترین سهم ورودی امرژی را در تولید گندم داشتند (Zhang et al., 2012).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های مبتنی بر امرژی

شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای تعیین میزان کارایی استفاده از نهاده‌ها، فشردگی، تجدیدپذیری و فشار محیطی از سوی یک نظام تولید به محیط به‌کار گرفته می‌شوند (Brown & Ulgiati, 1997; Brown & Ulgiati, 2004; Wang et al., 2014). مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در جدول ۴ ارائه شده است.

ضریب تبدیل (Tr) و امرژی ویژه (SpE)

ضریب تبدیل و امرژی ویژه معیارهایی از سودمندی یک فرآیند تولیدی می‌باشد. پایین‌تر بودن این شاخص‌ها به معنی عملکرد و بهره‌وری بیش‌تر فرآیند تولید در رقابت محیطی و اقتصادی در بلندمدت است (Odum, 2000). مقدار ضریب تبدیل برای نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد در منطقه سیستان به‌ترتیب ۱۰^۶×۳/۸۸، ۱۰^۶×۳/۷۶ و ۱۰^۶×۲/۴۸ امژول خورشیدی بر ژول محاسبه شد (جدول ۴). هم‌چنین شاخص امرژی ویژه برای نظام‌های تولید کلزا ۱۰^۱۰×۹/۷۱، گلرنگ ۱۰^۱۰×۵/۵۳ و کنجد ۱۰^۱۰×۶/۴۶ امژول خورشیدی بر گرم بدست آمد (جدول ۴). کارایی پایین‌تر استفاده از نهاده‌ها در نظام تولید کلزا نسبت به دو نظام گلرنگ و کنجد به‌دلیل ضریب تبدیل و امرژی ویژه بالاتر این نظام بود. میزان این شاخص برای تولید دو نظام تجاری و معیشتی تولید کلزا در استان لرستان به‌ترتیب ۱۰^۵×۳/۰۸ و ۱۰^۵×۹/۴۸ امژول خورشیدی بر ژول گزارش

گردید (Amiri et al. 2019,). مقدار ضریب تبدیل در نظام تولید گندم در مزارع با مقیاس بزرگ در شمال چین ۱۰۵×۱/۶۳ محاسبه شد (Wang et al., 2014). ضریب تبدیل برای نظام‌های تولید خرما (Phoenix dactylifera *L.*) و پسته (*Pistacia vera* L.) در نهبندان ایران به‌ترتیب ۱۰۹×۱/۷۱ و ۱۰۹×۱/۴۷ امژول خورشیدی بر ژول و امرژی ویژه نیز برای نظام‌های تولید خرما ۱۰۱۰×۱/۳۷ و برای پسته ۱۰۱۰×۲/۰۲ امژول خورشیدی بر گرم محاسبه شد (Jafari et al., 2018).

نسبت تجدیدپذیری امرژی (R%)

شاخص نسبت تجدیدپذیری امرژی، میزان اتکای هر نظام به انرژی‌های تجدیدپذیر را بیان می‌کند (Su et al., 2020). نظام‌های تولید با سهم بالاتر منابع تجدیدپذیر نسبت به نظام‌های با مصرف بیش‌تر ورودی‌های تجدیدناپذیر در رقابت اقتصادی، شانس موفقیت و پایداری بالاتری را دارا هستند، زیرا منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کمیاب‌تر می‌شوند (Asgharipour et al., 2019). میزان وابستگی به نهاده‌های تجدیدپذیر نظام‌های تولید کلزا ۱/۵۸ درصد، گلرنگ ۲/۱۴ درصد و کنجد ۰/۸۵ درصد محاسبه شد (جدول ۴). بین سه نظام مورد تحقیق، کلزا و کنجد با مصرف کم‌تر نهاده‌های امرژی تجدیدپذیر ناپایدارتر بودند، درحالی‌که نظام تولید گلرنگ با وابستگی کم‌تر به نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر پایدارتر می‌باشد. به زبان ساده‌تر می‌توان چنین گفت که بیش‌ترین تجدیدپذیری بین نظام‌های تولید مربوط به گلرنگ بود که دلیل آن سهم بیش‌تر منابع تجدیدپذیر محیطی از کل ورودی امرژی (۱/۴۲درصد) و وابستگی کم‌تر به منابع تجدیدناپذیر محیطی در این نظام است. در نتیجه، در منطقه سیستان پایداری نظام گلرنگ بیش‌تر از دو نظام دیگر است.

جدول ٤- شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان

Table 4- Emergy-based indices of the production systems of rapeseed, safflower and sesame in the Sistan region

	کلزا Rapeseed	گلرنگ Safflower	کنجد Sesame
ضریب تبدیل Transformity	3.88E+06	3.76E+06	2.48E+06
امرژی ویژه Specific emergy	9.71E+10	5.53E+10	6.46E+10
درصد تجدیدپذیری R%	1.58%	2.14%	0.85%
نسبت عملکرد امرژی EYR	6.404	5.414	6.579
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی EIR	0.185	0.227	0.179
اصلاح شده EIR*	16.157	12.985	38.988
نسبت بار زیست‌محیطی ELR	102.46	69.30	255.49
اصلاح شده ELR*	62.137	45.671	116.796
شاخص پایداری محیط زیست ESI	0.062	0.078	0.026
اصلاح شده ESI*	0.103	0.119	0.056
کسر مبادله امرژی EER	12.936	8.178	1.470
شاخص امرژی سلامت تولید EIPS	0.3938	0.3288	0.3613

درصد تجدیدپذیری نظام تولید انگور یاقوتی (*Vitis vinifera* L.) در سیستان برابر با ۶۴/۹۴ به‌دست آمد (Kohkan et al., 2017).

مقادیر درصد تجدیدپذیری امرژی برای نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و رویشگاه طبیعی تولید موسیر (*Allium cepa*, variety aggregatum) به‌ترتیب ۱۸/۶۰، ۲۶/۳۰، ۲۵/۳۰ و ۱۶/۳۰ درصد به‌دست آمد (Amiri et al., 2021). همچنین این شاخص برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در سیستان به‌ترتیب ۴/۸، ۱۱/۶ و ۱۲/۵ درصد گزارش شد (Yasini et al., 2020). درصد تجدیدپذیری در مزارع ذرت چین نیز ۲۷ درصد به‌دست آمد (Zhang et al., 2012).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت عملکرد امرژی (EYR) از حاصل تقسیم کل امرژی ورودی بر ورودی‌های خریداری شده امرژی محاسبه می‌شود. مقدار بالاتر این شاخص بیانگر بازگشت بیش‌تر امرژی در مقابل امرژی سرمایه‌گذاری شده است (Chen et al., 2006). این شاخص به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان معیاری برای نمایان کردن توانایی یک فرآیند برای جذب منابع تجدیدپذیر و غیرقابل‌تجدید محیطی با سرمایه‌گذاری روی منابع اقتصادی استفاده می‌شود (Odum, 1996). برای EYR بالاتر نسبت بیش‌تری از منابع رایگان امرژی در فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Brown & Ulgiati, 2005Odum, 2000;). نسبت عملکرد امرژی در این تحقیق برای سه نظام تولید کلزا، گلرنگ و کنجد به‌ترتیب معادل ۶/۴۰۴، ۵/۴۱۴ و ۶/۵۷۹ محاسبه شد (جدول ۴). طبق بررسی‌های انجام شده، نظام تولید گلرنگ EYR پایین‌تری نسبت به دو نظام کلزا و کنجد نشان می‌دهد. دلیل EYR بالاتر در نظام‌های تولیدی کلزا و کنجد، استفاده بیش‌تر از منابع امرژی تجدیدناپذیر نسبت به نظام گلرنگ می‌باشد. در تحلیل امرژی نظام‌های مختلف، شاخص EYR به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی شناخته می‌شود (Amiri et al., 2021). مقادیر EYR برای نظام‌های گلخانه‌ای تولید خیار (*Cucumus sativus* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) شهرستان جیرفت، را به‌ترتیب ۱/۰۲۵، ۱/۰۱۵، ۱/۰۱۴، و۱/۰۱۲ به‌دست آمد (Asgharipour et al., 2020). در این مطالعه، مقدار EYR در نظام تولید خیار بیش‌تر از سه نظام دیگر مورد مطالعه بود. مقایسه EYR چهار نظام سبزیجات مورد مطالعه، حاکی از وابستگی زیاد این نظام‌ها به منابع خریداری شده در مقایسه با منابع رایگان محیطی است. طبق بررسی‌های صورت گرفته، مقادیر EYR برای محصول انگور در جنوب چین ۱/۰۷ به‌دست آمد (Feng et al., 2013). برای نظام‌های تولید برنج و سبزیجات این شاخص به‌ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۵ گزارش شد (Lu et al., 2010). برای ذرت در شمال چین، مقدار این شاخص ۱/۲۰ محاسبه شد (Zhang et al., 2012). EYR در محصولات باغی موز (Musa sp.)، پاپایا (*Carica papaya*)، گواوا (*Psidium guajava*)، و وامپی (*Clausena lansium*) به‌ترتیب ۱/۰۴، ۱/۱۶، ۱/۳۱، و ۱/۳۰ محاسبه گردید (Lu et al., 2009).

نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR*)

نسبت‌های سرمایه‌گذاری امرژی شدت سرمایه‌گذاری، توسعه اقتصادی و دسترسی به منابع رایگان فراهم شده از منابع محیط و میزان وابستگی نظام کشاورزی به محیط را نشان می‌دهد. به عبارتی، مقدار پایین‌تر نسبت‌های سرمایه‌گذاری امرژی بیان‌کننده وابستگی بیش‌تر نظام به منابع محیطی و هزینه‌های اقتصادی کم‌تر و وابستگی بیش‌تر خروجی نظام به منابع محیطی است (Odum, 2000). همچنین این شاخص‌ها نمایانگر سرمایه اقتصادی مصرف شده در نظام تولیدی بوده و به همین سبب، مقدار بیش‌تر آن نشان‌دهنده سهم بیش‌تر منابع خریداری شده می‌باشد (Kohkan et al., 2017). نسبت EIR* نیز از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی حاصل می‌گردد. بنابراین، جهت مقایسه هزینه‌های تولیدی و قدرت رقابت اصولی‌تر در بازار پیشنهاد می‌شود (Amiri et al., 2019). در واقع، EIR و EIR* بیان می‌کنند که در هر نظام تولید، نسبت سرمایه‌گذاری نهاده‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان و تجدیدپذیر محیطی چه مقدار است (Odum 1996; Lan et al., 2002; Amiri et al., 2019).

EIR در سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد برابر ۰/۱۸۵، ۰/۲۲۷ و ۰/۱۷۹ محاسبه شد (جدول ۴). بالا بودن EIR در نظام تولید گلرنگ نشان‌دهنده سطح بالاتر توسعه اقتصادی در این نظام می‌باشد و دلیل آن مربوط به استفاده بیش‌تر ورودی‌های بازاری از جمله کود نیتروژن و آفت‌کش‌ها است. بنابراین، با کاهش میزان ورودی‌های بازاری در نظام تولید گلرنگ می‌توان این شاخص را کاهش و کارایی تولید را بهبود بخشید. همچنین پایین‌ترین مقدار EIR به نظام تولید کنجد

مربوط بود که نشان‌دهنده کارایی اقتصادی بالاتر این نظام در مقایسه با نظام‌های گلرنگ و کلزا است. مقادیر *EIR برای کلزا ۱۶/۱۵۷، گلرنگ ۱۲/۹۸۵، و کنجد ۳۸/۹۸۸ محاسبه گردید (جدول۴). با وجود اینکه تولید گلرنگ بیش‌ترین سهم امرژی را از منابع بازاری در بین سه نظام مورد مطالعه دارا می‌باشد، کم‌ترین *EIR در آن مشاهده شد. بنابراین، براساس شاخص *EIR می‌توان این‌گونه اظهار کرد که نظام گلرنگ، سودمندی بیش‌تری نسبت به دو نظام دیگر دارد. کلزا و کنجد نیز در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

میزان EIR برای نظام‌های تولید کلزا در واحدهای تجاری و سنتی به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۸۶ و مقادیر به‌دست‌آمده *EIR در نظام تجاری و سنتی به‌ترتیب ۹/۰۰ و ۸/۹۴ بود (Amiri et al., 2019). هم‌چنین مقادیر EIR برای نظام‌های تولید مکانیزه، سنتی، حفاظتی، و رویشگاه طبیعی به‌ترتیب ۷/۷۲۱، ۱۲/۶۶۵، ۲۳/۲۲۳، و ۰/۷۸۵ و مقادیر *EIR برای نظام‌های تولید مکانیزه ۲۱/۸۷۲، سنتی ۲۵/۳۰۸، حفاظتی ۴۰/۹۳۲ و رویشگاه طبیعی ۳/۷۰۸ گزارش شد (Amiri et al., 2021).

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (*ELR)

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (*ELR) مقدار فشار وارد شده بر محیط زیست را محاسبه می‌نماید و نشان‌دهنده مقدار استفاده‌ی نظام از خدمات محیط زیست می‌باشد. ELR از طریق سنجش نسبت ورودی‌های امرژی تجدیدناپذیر محیطی و خریداری شده و ورودی‌های تجدیدپذیر خریداری شده بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و *ELR با ارزیابی نسبت منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد (Ortega et al., 2002). به‌طور کلی، ELRهای پایین‌تر از دو بیانگر فشار محیطی نسبتاً کم، ELR بین ۲ و ۱۰ بیانگر فشار محیطی متوسط و ELR بیش از ۱۰ نشانه تنش بالای محیطی می‌باشد (Cavalett et al., 2006Brown & Ulgiati, 2004 ;). در منطقه سیستان مقادیر ELR برای نظام‌های تولید کلزا ۱۰۲/۴۶، گلرنگ ۶۹/۳۰ ، و کنجد ۲۵۵/۴۹ محاسبه شد. مقادیر *ELR برای نظام‌های کلزا ۶۲/۱۳۷، گلرنگ ۴۵/۶۷۱، و کنجد ۱۱۶/۷۹۶ به‌دست آمد (جدول ۴). این مقادیر بیانگر فشار محیطی بسیار شدیدی است که هر سه نظام مورد ارزیابی بر محیط زیست وارد می‌کنند. از دلایل اصلی میزان بالای این شاخص در هر سه نظام می‌توان به مصرف زیاد ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی (به‌ویژه آب‌های زیرزمینی و فرسایش خاک) اشاره کرد. مقدار ELR در نظام تولید گلرنگ کم‌تر از دو نظام دیگر است که این بیانگر کم‌تر بودن میزان فشار و تنشی است که به محیط وارد می‌شود و دلیل آن، استفاده از سهم بیش‌تر ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر و سهم کم‌تر استفاده از ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی در نظام تولیدی گلرنگ نسبت به دو نظام مورد ارزیابی دیگر می‌باشد. شاخص نسبت بار زیست‌محیطی برای کلزا در نظام‌های کشت معیشتی و تجاری به‌ترتیب ۱۹/۷۵ و ۱۲/۶۸ و مقادیر *ELRدر این دو نظام ۱۷/۸۵ و ۴ محاسبه شد (Amiri et al., 2019). ELR تولید قهوه در برزیل در سه نظام تولیدی شامل بوم‌نظام تجاری، منطقه محافظت شده قانونی و مناطق حفاظت شده بومی تولید این محصول به‌ترتیب ۲/۸۹، ۰/۳۹ و ۲/۰۶ به‌دست آمد (Giannetti et al., 2011).

پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و اصلاح شده (*ESI)

دو شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و اصلاح شده (*ESI) نشان‌دهنده میزان فشار از سوی نظام تولیدی بر محیط‌زیست است (Odum, 1996). شاخص‌های ESI و *ESI هر دو سازگاری اقتصادی و زیست‌محیطی فرآیندهای تولید را از دیدگاه‌های متفاوت مدنظر می‌گیرند. مقادیر ESI و *ESI بالاتر پایداری بیش‌تر نظام تولید را نشان می‌دهند (Ulgiati & Asgharipour et al., 2019 ; Brown, 1998). مقدار اندک این شاخص‌ها حاکی از فشار بالا بر محیط زیست می‌باشد و تداوم این فشارها بر محیط زیست مطمئناً اثرات سوء بر پایداری تولید نظام دارد (Ulgiati & Brown, 1998). مقادیر بیش‌تر از ۱۰ این شاخص‌ها نشانگر نظام‌های پایدار با کم‌ترین فشار، بین یک تا ده نظام‌های زنده و خوب و کم‌تر از یک نشان‌دهنده نظام‌های از بین برنده منابع است (Asgharipour et al., 2019). در این مطالعه، به‌ترتیب ESI و *ESI برای نظام تولیدی کلزا ۰/۰۶۲ و ۰/۱۰۳، برای گلرنگ ۰/۰۷۸ و ۰/۱۱۹ و برای کنجد ۰/۰۲۶ و ۰/۰۵۶ محاسبه شد. در این مطالعه، مقادیر شاخص پایداری محیط زیست برای هر سه نظام کم‌تر از یک بود که نشان‌دهنده سطح پایداری نامناسب این نظام‌ها و فشار محیطی بالای آن‌ها است (Zhang et al., 2018). دلیل این امر برای هر سه نظام کلزا، گلرنگ و کنجد،

مصرف بسیار زیاد منابع محیطی تجدیدناپذیر می‌باشد. مقادیر شاخص پایداری زیست‌محیطی کم‌تر از واحد در تحقیقات زیادی به‌دست آمده، به‌طور مثال برای مطالعات انجام شده در ایران، مقدار ESI و *ESI را برای نظام تولید کلزا در لرستان بـرای نظـام تجـاری ۰/۱۲ و ۰/۱۳ و نظـام معیشـتی ۰/۱۲ و ۰/۳۸ محاسـبه شـد (Amiri et al., 2019). مقادیر این شاخص‌هـا بـرای نظام‌هـای تولیـد سـیر، پیـاز و گـندم در سیستان به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۹ و ۰/۰۸ به‌دست آمـد (Yasini et al., 2020). شاخص ESI برای بوم‌نظام‌های پـاییزه و بهـاره سـیب‌زمینی به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۷ به‌دست آمد (Shah Hoseini et al., 2021). ESI در پنج نظام مختلف تولیـد لوبیـا در ایـران بـین ۰/۰۳ تـا ۰/۰۸ گزارش شد (Asgharipour et al., 2019).

شاخص کسر مبادله امرژی (EER)

شاخص کسر مبادله امرژی با تقسیم کل امرژی مصرفی در تولید بر امرژی دریافتی از بازار محاسبه می‌شود (Azizi et al., 2021). این شاخص امکان رویارویی خروجی و ورودی نظام را بـه‌طور تـوأم مهیـا می‌سـازد (Lu et al., 2009). کسـر مبادلـه امـرژی بیش‌تـر از یـک، مطلوب و نشان‌دهنده قدرت بیش‌تر خرید امرژی پول به‌عنوان مبـدل کالا (محصول تولیدی) نظـام در بـازار در مقایسـه بـا جریـان امـرژی ورودی بـه نظـام اسـت (Amiri et al., 2019). مقـادیر EER در نظام‌های مورد ارزیـابی کلـزا، گلرنـگ و کنجـد بـه‌ترتیـب ۱۲/۹۳۶، ۸/۱۷۸ و ۱/۴۷۰ محاسبه شد. این مقادیر برای هر سه نظام، بیش‌تر از واحد بوده و بیانگر مطلوبیـت قیمـت فـروش ایـن محصـول در بـازار می‌باشد. کسر مبادله امـرژی در نظام‌هـای تولیـد: لوتـوس، لوتـوس- میگو، لوتوس- ماهی، موز، پاپایا، وامپی و گواوا را به‌ترتیب ۲/۶، ۲/۵، ۴/۲، ۲/۵، ۱/۸، ۳/۶ و ۱/۹ گزارش شد که همگی نشـان‌دهنده EER با مطلوبیت خوب می‌باشند (Lu et al., 2009; 2018). این شـاخص برای نظام‌های تولید خیـار، گوجـه‌فرنگی، فلفـل دلمـه‌ای و بادمجـان بـــه‌ترتیب معـــادل ۰/۷۲، ۰/۵۴، ۰/۴۶ و ۰/۳۳ گـــزارش شـــد (Asgharipour et al., 2020). مقادیر EER در هر چهار نظام تولید این سبزیجات، کم‌تر از واحد و نامطلوب بود.

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

EIPS تأثیرات ناشی از استفاده کودهـا و سـموم شـیمیایی را بـر نظام تولیدی محصولات و به‌نوعی سلامت محصول مورد ارزیابی قرار می‌دهد و هرچه میزان این شاخص بیش‌تر باشد، سلامت محصول نیز افزایش می‌یابد. این شاخص برای کلـزا ۰/۳۹۳۸، گلرنـگ ۰/۳۲۸۸ و کنجد ۰/۳۶۱۳ بود. EIPS در هر سه نظام مورد ارزیابی تقریبـاً شـبیه به هم به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان چنین گفـت کـه نظـام گلرنـگ پایین‌ترین میزان سلامت تولید را در بین سه نظام دارا است. برای بالا بردن این شـاخص بایـد اسـتفاده از کودهـا و سـموم شـیمیایی را در مجموع هر سه نظام علی‌الخصوص نظام تولیدی گلرنـگ بـه حـداقل رساند.

مقادیر شاخص امرژی سلامت تولیـد بـرای نظـام‌هـای مکـانیزه، سنتی، حفاظتی و رویشگاه طبیعـی موسـیر بـه‌ترتیب ۰/۸۸۳، ۰/۹۰۶، ۱/۰۰ و ۱/۰۰ محاسبه گردید (Amiri et al., 2021). همچنین مقدار EIPS برای دو نظام تولید برنج- اردک و تناوب گندم- برنج به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۳۴ گزارش شد (Xi & Qin, 2009).

تحلیل اقتصادی

میـزان متوسـط عملکـرد اقتصـادی در منطقـه سیسـتان بـرای نظام‌های تولیـد کلـزا ۷۵۰، گلرنـگ ۸۶۰ و کنجـد ۵۵۰ کیلـوگرم در هکتار در سال محاسبه شد، که نشـان‌دهنـده برتـری بـیش‌تـر نظـام گلرنگ از جهت عملکرد نسبت به دو نظام دیگر مورد ارزیابی بود. این در حالی است کـه قیمـت فـروش بـه‌ازای هـر کیلـوگرم بـرای کلـزا ۱۱۰۰۰۰ ریال، گلرنگ ۸۵۰۰۰ ریال و کنجد ۲۳۵۰۰۰ ریال می‌باشـد (جدول ۵).

هزینه‌های تولید برای یک هکتار کلزا معادل ۴۱/۵ میلیـون ریـال برآورد شد. ارزش ناخالص تولید محاسبه شده بـرای ایـن نظـام برابـر ۸۲/۵ میلیون ریال بود و در نهایت، درآمد خالص برای کلزا برابر با ۴۱ میلیون ریال به‌دست آمد. همچنین نسبت سود به هزینه ۰/۹۹ میلیون ریال و بهره‌وری عملکرد نیز برابر با ۱۸/۲۹ حاصل گردید. این مقادیر برای نظام تولید گلرنگ برای یـک هکتـار چنـین بـه‌دسـت آمـد کـه مجموع کل هزینـه‌های تولیـد ۳۸/۲ میلیـون ریـال و ارزش ناخـالص تولید برابر با ۷۳/۱ میلیون ریال بود و در نتیجه، درآمـد خـاص بـرای نظام گلرنگ برابـر بـا ۳۴/۹ حاصـل شـد. نسـبت سـود بـه هزینـه و بهره‌وری عملکرد نیز برای این محصول به‌ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۲۴/۶۴ محاسبه شد. در آخر، کل هزینه‌های تولید برای نظام تولید کنجد برای یک هکتار ۲۶ میلیون ریال، ارزش ناخـالص تولیـد ۱۲۹/۲۵ و درآمـد خالص برای این نظام برابر ۱۰۳/۲۵ به‌دست آمد، نسبت سود به هزینه

برای کنجد ۳/۹۷ و بهره‌وری عملکرد نیز ۵/۳۳ کیلوگرم بر میلیون ریال حاصل شد.

جدول ۵- تجزیه و تحلیل اقتصادی نظام‌های تولید کلزا، گلرنگ و کنجد منطقه سیستان

Table 5- Economic analysis of rapeseed, safflower and sesame production systems in Sistan region

پارامتر Parameter	کلزا Rapeseed	گلرنگ Safflower	کنجد Sesame
عملکرد اقتصادی Economic yield ($kg.ha^{-1}$)	750	860	550
قیمت فروش محصول اقتصادی Selling price of economic product (thousand $Rials.kg^{-1}$)	110	85	235
ارزش ناخالص تولید Gross production value (million $Rials.ha^{-1}$)	82.5	73.1	129.25
کل هزینه‌های تولید Total production costs (million $Rials.ha^{-1}$)	41.5	38.2	26
در آمد خالص Net income (million $Rials.ha^{-1}$)	41	34.9	103.25
نسبت سود به هزینه Profit to cost ratio (million $Rials.ha^{-1}$)	0.99	0.91	3.97
بهره‌وری عملکرد اقتصادی Productivity of economic performance (million $Rials.ha^{-1}$)	18.29	24.64	5.33

تحلیل اقتصادی نظام‌های مورد مطالعه حاکی از این است که ارزش ناخالص تولید برای نظام کنجد در منطقه سیستان بالاتر از دو نظام دیگر بود. علی رغم اینکه دو نظام تولید گلرنگ و کلزا بهره‌وری عملکرد بیش‌تری را دارا بودند، امّا نسبت سود به هزینه در این دو نظام قابل توجه نیست. گلرنگ که بیش‌ترین بهره‌وری عملکرد را در بین نظام‌های مورد مطالعه دارا بود، به‌دلیل قیمت فروش کم‌تر، درآمد خالص چندانی نداشت، موضوع بهره‌وری عملکرد بیش‌تر و قیمت فروش کمتر برای کلزا هم به مانند گلرنگ صدق می‌کند. طبق نتایج، در نظام‌های تولید کلزا و گلرنگ، درآمد با هزینه‌های تولید حتی برابر هم نبود. امّا نظام کنجد با کم‌ترین بهره‌وری عملکرد دارای بالاترین قیمت فروش، کل هزینه‌های تولیدی کم‌تر و در نتیجه، درآمد خالص بیش‌تر، اقتصادی‌ترین نظام در بین سه نظام مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به‌منظور مقایسه پایداری تولید و بهره‌وری اقتصادی گیاهان روغنی (کلزا، گلرنگ و کنجد) در منطقه سیستان ایران براساس تحلیل‌های امرژی و اقتصادی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ صورت گرفت. این تحقیق تلاشی برای یافتن و معرفی محصولی است که حداکثر کارایی، بهره‌وری اقتصادی و اکولوژیکی و سطح بالایی از ملاحظات زیست‌محیطی را همراه داشته باشد. کشاورزی به‌عنوان شغلی مهم در منطقه سیستان قلمداد می‌شود. آنچه که در وهله اول در بحث کشاورزی مورد توجه قرار می‌گیرد، تولید موفق و سود حاصله از آن است. امّا آن‌چنان که باید به سلامت خاک، بهره‌وری زمین و آب که از مهم‌ترین اجزای تولید است و بار زیست‌محیطی توجهی نمی‌شود. تحلیل اقتصادی میزان سوددهی نظام تولید را محاسبه کرده و سهم نهاده‌های محیطی رایگان در آن لحاظ نمی‌شود، امّا در تحلیل امرژی این مشکل مدنظر گرفته شده، زیرا شاخص‌هایی مانند نسبت عملکرد امرژی، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی، نسبت بار زیست‌محیطی و ... را مورد ارزیابی قرار داده و نگرانی‌ها در خصوص فشارهای وارده بر محیط زیست را کم می‌کند. معمولاً تحلیل‌های امرژی و اقتصادی نتایج یکسانی را نشان نمی‌دهند. نتیجه تحلیل امرژی سه نظام مورد ارزیابی تولید کلزا، گلرنگ و کنجد چنین به‌دست آمد که شاخص کسر مبادله امرژی (EER) برای نظام تولیدی کلزا بیشتر از دو نظام دیگر بود و شاخص امرژی سلامت تولید برای هر سه نظام تقریباً در یک سطح بود و تفاوت چندانی مشاهده نشد. پایداری زیست‌محیطی (ESI و *ESI) بیشتر، درصد تجدیدپذیری (R%) بالاتر، بار زیست‌محیطی (ELR و *ELR) و نسبت سرمایه‌گذاری نسخه اصلاح شده (*EIR) کم‌تر در

نظام گلرنگ، حاکی از پایداری اکولوژیکی بیش‌تر این نظام می‌باشد. ارزیابی امرژی نشان‌دهنده برتری نظام گلرنگ برای دستیابی به پایداری نسبت به نظام‌های کنجد و کلزا می‌باشد.

تحلیل امرژی سهم نهاده‌های طبیعی و اقتصادی را با واحد یکسان امژول خورشیدی محاسبه کرده و هدف آن، بهبود بخشیدن به ارزیابی پایداری محیطی و اقتصادی است. استفاده ترکیبی از تحلیل اقتصادی و تحلیل امرژی در این تحقیق می‌تواند مسیری را برای تصمیم‌گیری‌های مؤثر مدیریت برای همه نظام‌ها به‌سوی توسعه پایدار برای اقتصاد و محیط‌زیست به‌عنوان یک مجموعه بیان کند. به‌عنوان یک نتیجه کلی، این تحلیل‌ها نشان از این دارد که عملکرد محیطی بهتر با عملکرد اقتصادی ضعیف‌تر همراه است. از آنجایی که این تحقیق تلفیقی از نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های امرژی و اقتصادی می‌باشد، می‌توان با ایجاد آگاهی بیش‌تر فنی و مدیریت منابع از جمله جلوگیری از تلفات ماده‌آلی و فرسایش خاک و کاهش ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر، افزایش اتکای نظام به منابع محیطی تجدیدپذیر و همچنین استفاده از بذر بیشتر و ارقام اصلاح شده، افزایش عملکرد اقتصادی، استفاده بیشتر کود آلی به‌جای کودهای شیمیایی در نظام تولید کنجد به ارتقای بهبود پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی این نظام کمک کرد.

References

1. Ahmadi, M., & Aghaalikhani, M. (2012). Analysis of energy use in cotton cropping in Golestan province in order to represent a strategy for increase of resources productivity. *Journal of Agroecology. 4*, 151-158. (In Persian with English abstract).
2. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., & Armin, M. (2019). A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production. 226*: 1051–1066. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.091
3. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., Kakolvand, E., & Moghadam, E.H. (2021). Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production. 292*, 126000. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126000
4. Asgharipour, M.R., Amiri, Z., & Campbell, D.E (2020). Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling. 424*, 109021. https://doi.org/ 10.1016/j.ecolmodel.2020.109021
5. Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I., & Ghadiri, A. (2019). Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment. 191*(2), 1-21. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3
6. Azizi, K. Campbell, D.E., Amiri, Z., Asgharipour, M.R., & Kakalvand, A. (2021). Comparison of the sustainability of agricultural system and natural environment of shallot production in Al-Shatar city, Lorestan province based on emergy analysis. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production 31*(4), 303-323. (In Persian with English abstract)
7. Brandt-Williams, S.L. (2002). Emergy of Florida Agriculture. 2nd Edition, USA: Florida, University of Florida, Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Science, Gainesville, 38 p.
8. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (1997). Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering 9*, 51–69. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00033-5
9. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (2004). Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling. 178*, 201–213. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002
10. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (2005). Emergy, transformity and ecosystem health. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*, *333*: 346.
11. Campbell, D.E. (1998). Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: An example using the state of Maine. *Environmental Monitoring and Assessment. 51*, 531-569. https://doi.org/10.1023/A:1006043721115
12. Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., & Meisch, M.E.A. (2005). Environmental Accounting Using Emergy, Evaluation of the State of West Virginia. First Edition, USA: Washington, Office of Research and Development, 116 p.
13. Cavalett, O., Queiroz, J.F., & Ortega, E. (2006). Emergy assessment of integrated production systems of grains,

pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling. 193*, 205–224. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023

14. Chen, G.Q., Jiang, M.M., Chen, B., Yang, Z.F., & Lin, C. (2006). Emergy analysis of Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment. 115*, 161–173. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.005
15. Chen, S., & Chen, B. (2012). Sustainability and future alternatives of biogas-linked agroecosystem (BLAS) in China: A emergy synthesis. *Renewable and Sustanable Energy Reviews.* 16, 3948-3959. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.040
16. Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A., & Liu, Z. (2017). Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of three gorges reservoir of china. *Journal of Cleaner Production. 144*, 559-571. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.053
17. Dale, V.H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics. 64*, 286-296. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009
18. Danesh-Shahraki, A., Kashani, A., Mesgarbashi, M., Nabipour, M., & Kouhi-Dehkordi, A. (2008). The effect of plant densities and time of nitrogen application on some agronomic characteristic of rapeseed. Appl. *Field Crops Research. 79*, 10-17 (In Persian with English abstract).
19. Fallahinejad, S., & Armin, M. (2022). Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment & Society.* 2, 15-24. https://doi.org/10.22034/aes.2022.327793.1019
20. Fan, J., Mc Conkey, B.G., Janzen, H.H., & Miller, P.R. (2018). Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: A case study in semi-arid Canadian farmlands. *Journal of Cleaner Production. 172*, 428-437. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.200
21. Fei, R., & Lin, B. (2017). Estimates of energy demand and energy saving potential in china's agricultural sector. *Energy. 135*, 865-875. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.173
22. Feng, J.Y., Lu, S.Z., Fu, Z.T., & Tian, D. (2013). Emergy analysis of protected grape production system in China. Pages 3938-3942 in Advanced Materials Research. Trans Tech Publ.
23. Fetros, F. (1998). Productivity in the orbit of sustainable development. Scientific-Research *Agricultural Economics and Development. 9*, 2-89. https://doi.org/10.1504/IJISD.2014.066656
24. Ghaley, B.B., Kehli, N., & Mentler, A. (2018). Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. *Ecological Indicators. 87*, 144-151. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.027
25. Gheicari, G., Asgharipour, M. R., Mousavi Nik, M., & Ghanbari, A. (2021). Effects of different cotton tillage methods on N2O and NH3 emissions in a cotton-wheat rotation. *Agriculture, Environment & Society*. *1*(1), 1-9. https://doi.org/10.22034/aes.2021.144106
26. Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H., & Almeida, C.M.V.B. (2011). Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. *Agricultural Systems. 104*, 679-688. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.08.001
27. Hashemi Bani, O., Salehi, M.H., & Beigi Harchegani, H. (2009). Estimation of soil organic matter by ignition in four important plains of Chaharmahal and Bakhtiari province. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources. Soil and Water Sciences. 13*(50), 77-89. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/agry.2021.69477.1032
28. Houshyar, E., Wu, X., & Chen, G. (2018). Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*. *172*, 2246-2255. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.187
29. Hu, S., Mo, X.G., Lin, Z.H., & Qiu, J.X. (2010). Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Journal of Environmental Management*. 46, 643–657. https://doi.org/10.1007/s00267-010-9543-x
30. Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M., & Hadarbadi, Gh. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production. 193*, 642-651. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.089
31. Kohkan, S.A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., & Fakheri, B.A. (2017). Emergy evaluation of Yaghuti grape of Koocheki, A.R., Nasiri Mahalati, M., Amin Ghafouri, A., Mahluji Rad, M., & Falahpour, F. (2016). Economic value of ecosystem services for wheat production in Razavi Khorasan province. *Journal of Agricultural Ecology*. *8*(4), 612-627.
32. Kouchaki, A. (1997). Sustainable agriculture vision or method? *Journal of Agricultural Economics and Development. 20*, 53-72.
33. La Rosa, A., Siracusa, G., & Cavallaro, R. (2008). Emergy evaluation of Sicilian red orange production. Acomparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production. 16*, 1907-1914. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.01.003

34. Lan, S.F., Qin, P., & Lu, H.F. (2002). Emergy assessment of ecological systems (Vol. 75 and 76, pp. 406–412). Beijing: Chemical industry press.
35. Lefroy, E., & Rydberg, T. (2003). Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling. 161*, 195-211. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00341-1
36. Lu, H.F. Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2018). Bamboo vs. crops: an integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan province, China. *Journal of Cleaner Production. 177*, 464–473. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.193
37. Lu, H.F., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2009). Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering. 35*, 1743–1757. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.001
38. Lu, H.F., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2010). Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management. 91*, 2727–2735. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.025
39. Ministry of Power. (2011). Energy balance sheet 2010. Vice President of Electricity and Energy Affairs, Electricity and Energy Macro Planning Office, Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran.
40. Miri, A., Pahlevanravi, A., & Moghadamnia, A.R. (2009). Investigation of dust storm in Sistan region after periodic droughts. *Pasture and Desert Research. 16*(3), 329-342. (In Persian with English abstract)
41. Mohammadi, S., Karimzadeh, H., & Alizadeh, M. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Iranian Journal of Ecohydrology. 5*(2), 551-569. (In Persian with English abstract).
42. Nazarian, S.M., Zibaee, M., & Sheikh Zainuddin, A. (2020). Assessing the sustainability of agricultural systems using the consensual planning approach: Kohdasht region of Lorestan. *Agricultural Economics and Development. 34*, 239-257.
43. Negaresh, H., & Khosravi, M. (2000). Investigation of the agricultural climate of Sistan and Baluchestan province. Sistan and Baluchistan University Research Assistant. Zahedan.
44. Odum, H.T. (1983). Systems Ecology. Wiley, New York, pp. 644.
45. Odum, H.T. (1988). Self-Organization, Transformity, and Information. *Science*, *242*, 1132-1139.
46. Odum, H.T. (1996). Environmental Accounting, EMERGY and Decision Making. John Wiley, New York, 370 pp.
47. Odum, HT. (2000). Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation. Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.
48. Ortega, E., Anami, M., & Diniz, G. (2002). Certification of food products using emergy analysis, in: Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies, pp. 227–237.
49. Patterson, M., McDonald, G., & Hardy, D. (2017). Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. *Ecological Modelling.* 362, 19-36. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022
50. Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D., & Vander Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems. 65*, 113-136. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7
51. Quintero-Angel, M., & Gonzalez-Acevedo, A. (2018). Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 254, 273–281. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030
52. Salimipour, S.A., & Naqshbandi, Y., 2014. Emergy: concept, need and applications. *New Technologies in New Systems. 4*(1), 48-56.
53. Seyedan, M. (2003). Productivity analysis and determining the optimal amount of potato production factors in Hamadan city. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. *34*(4), 1003-1010.
54. Shah Hosseini, H.R., Ramrodi, M., & Kazemi, H. (2021). Economic analysis and evaluation of the sustainability of potato production based on greenhouse gas emissions (Case study: The province of Golestan). *Agricultural Knowledge and Sustainable Production. 31*(3), 295-311.
55. Shah Hoseini, H.R., & Kazemi, H. (2022). Evaluation of sustainability of rainfed rapeseed production in Gorgan County using Emergy analysis. *Journal of Emergy, Life Cycle and System Analysis in Agriculture.* 2(1), 61-70. https://doi.org/10.22034/aes.2022.337172.1031
56. Shariati, Sh., & Ghazi Shahnizadeh, P. (2000). Rapeseed, vice-president of training and equipping manpower. Publications of the Agricultural Education Publishing Center. 40.
57. Su, Y., He, Sh., Wang, K., Shahtahmassebi, A.R., Zhang, L., Zhang, J., Zhang, M., & Gan, M. (2020). Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental pollution. *Journal of Cleaner Production. 252*, 119650.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119650
58. Syswerda, S.P. (2009). Ecosystem services from agriculture across a management intensity gradient in Southwest Michigan. Ph.D. D, Michigan State University.
59. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling. 108*, 23–36. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00016-7
60. Ulgiati, S., Odum, H., & Bastianoni, S. (1994). Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling. 73*, 215–268. https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)90064-7
61. Vahedi, M., Hosseini, S.M., Farajolahhosseini, S.J., & Mirdamadi, M. (2009). Investigating viewpoints of Nazarabad county farmers about subjective indices of sustainable agriculture in the farm household level. *Journal of Agricultural Economics and Development Research. 40*(2), 123-133.
62. Vassallo, P., Riley, S., Beiso, I., Ridolfi, R., & Fabiano, M. (2007). Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators. 7*(2), 290–298. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.003
63. Wang, X., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2014). Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems. 128*, 66-78. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.005
64. Xi, Y.G., & Qin, P. (2009). Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering 35*(11):1677-1683. https://doi.org/ 10.1016/j.ecoleng.2007.11.006.
65. Xueping, H., & Qian, L. (2007). Assessment of the agricultural sustainability of Shaanxi province China. *Journal of Ecological Economy*. 3, 60-66.
66. Yamane, T. (1967). Elementary Sampling Theory. Englewood CliKs. Prentice-Hall, NJ, USA.
67. Yasini, H., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., & Seyed Abadi, M. (2020). Assessing the sustainability of garlic, onion and wheat production systems in Sistan with integrated emergy and economic analysis. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production. 30*, 269-288.
68. Yousefi, M., & Mahdavi Damghani, A. (2013). Investigation of water use efficiency and energy in irrigated systems in Kermanshah province. *Journal of Agroecology. 5*, 113-121. (In Persian with English abstract)
69. Zhai, X., Huang, D., Tang, S., Li, S., Guo, J., Yang, Y., Liu, H., Li, J., & Wang, K. (2017). The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Ecological Indicators. 74*, 198-204. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.028
70. Zhang, D.Y., Ling, F.L., Zhang, L.F., Yang, S.Q., Liu, X.T., & Gao, W.S. (2005). Emergy analysis of planting system at Gongzhuling county in the main grain production region in Northeast China Plain. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 21*(6): 12–17. (In Chinese with English abstract)
71. Zhang, L.X., Song, B., & Chen, B. (2012). Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production. 28*, 33-44. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.042
72. Zhang, Q., Yue, D., Fang, M., Yu, Q., Huang, Y., Su, K., Ma, H., & Wang, Y. (2018). Study on sustainability of land resources in dengkou county based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production. 171*, 580-591. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.275
73. Zia Tavana, M.H. (1992). Features of the natural environment of Sistan pit. Geographical essays of Dr. Mohammad Hasan Ganji's celebration letter. Tehran. Publications of Gitaology.